

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 8月 1日

出 願 番 号  
Application Number: 特願 2003-285383  
[ST. 10/C]: [JP 2003-285383]

出 願 人  
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

REC'D 07 OCT 2004

WIPO PCT

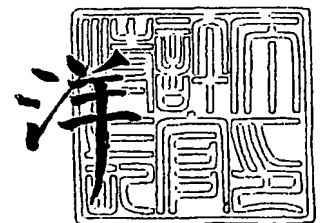
**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願	
【整理番号】	NTTH155695	
【提出日】	平成15年 8月 1日	
【あて先】	特許庁長官 殿	
【国際特許分類】	H01S 3/07	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	湯本 潤司	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	馬渡 宏泰	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	西田 好毅	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	遊部 雅生	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	宮澤 弘	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	吉野 薫	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	忠永 修	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	久保田 英志	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	神原 浩久	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	鈴木 博之	
【特許出願人】		
【識別番号】	000004226	
【氏名又は名称】	日本電信電話株式会社	
【代理人】		
【識別番号】	100077481	
【弁理士】		
【氏名又は名称】	谷 義一	
【選任した代理人】		
【識別番号】	100088915	
【弁理士】		
【氏名又は名称】	阿部 和夫	
【手数料の表示】		
【予納台帳番号】	013424	
【納付金額】	21,000円	

【提出物件の目録】

【物件名】	特許請求の範囲	1
【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【包括委任状番号】	9701393	

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

波長  $\lambda_1$  のレーザ光を発生する第 1 のレーザと、波長  $\lambda_2$  のレーザ光を発生する第 2 のレーザと、前記波長  $\lambda_1$  のレーザ光と前記波長  $\lambda_2$  のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$  の関係にある和周波の波長  $\lambda_3$  を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶を含むレーザ光源において、

前記和周波の波長  $\lambda_3$  は、ナトリウム D 線に相当する波長  $589.3 \pm 2 \text{ nm}$  であることを特徴とするレーザ光源。

## 【請求項 2】

前記非線形光学結晶は、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  における屈折率を、それぞれ  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  とすると、

$$2\pi n_3 / \lambda_3 = 2\pi n_1 / \lambda_1 + 2\pi n_2 / \lambda_2 + 2\pi n_2 / \Lambda$$

を満たすような周期  $\Lambda$  の周期的な分極反転構造を有することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 3】

前記非線形光学結晶は、導波路構造をさらに有することを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 4】

前記波長  $\lambda_1$  は  $976 \pm 10 \text{ nm}$  であり、前記波長  $\lambda_2$  は  $1485 \pm 20 \text{ nm}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 5】

前記波長  $\lambda_1$  は  $1064 \pm 10 \text{ nm}$  であり、前記波長  $\lambda_2$  は  $1320 \pm 20 \text{ nm}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 6】

前記波長  $\lambda_1$  は  $940 \pm 10 \text{ nm}$  であり、前記波長  $\lambda_2$  は  $1565 \pm 35 \text{ nm}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 7】

前記波長  $\lambda_2 = 1485 \pm 20 \text{ nm}$  を出力する前記第 2 のレーザは、DFB レーザであることを特徴とする請求項 4 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 8】

前記波長  $\lambda_2 = 1320 \pm 20 \text{ nm}$  を出力する前記第 2 のレーザは、DFB レーザであることを特徴とする請求項 5 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 9】

前記波長  $\lambda_2 = 1565 \pm 35 \text{ nm}$  を出力する前記第 2 のレーザは、DFB レーザであることを特徴とする請求項 6 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 10】

前記第 1 および第 2 のレーザの各々の出力に結合される 2 つの偏波面保持ファイバと、該 2 つの偏波面保持ファイバの出力を合波し、前記非線形光学結晶に結合する合波器とを備えたことを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載のレーザ光源。

## 【請求項 11】

前記第 1 および第 2 の励起レーザは、半導体レーザであり、

前記 2 つの偏波面保持ファイバは、少なくとも一方がファイバブラッググレーティングを有することを特徴とする請求項 10 に記載のレーザ光源。

## 【請求項 12】

前記第 1 および第 2 のレーザの少なくとも一方は、前記偏波面保持ファイバと結合する端面は、反射率を 2% 以下とし、該端面の反対側の端面の反射率を 90% 以上としたことを特徴とする請求項 11 に記載のレーザ光源。

【書類名】明細書

【発明の名称】レーザ光源

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光源に関し、より詳細には、レーザと非線形光学結晶とを用いて、高効率にナトリウムD線波長のコヒーレント光を発生するレーザ光源に関する。

【背景技術】

【0002】

液体、ガラスなどの光学媒質の屈折率、吸収などの光学特性は、光学機器の特性を規定する点で、または食品、医薬品などの精度、純度などの品質管理の点で、重要な評価項目となっている。これら光学特性の測定には、波長589～590nmのナトリウムD線を発生する光源が用いられている。

【0003】

例えば、液体中の糖度と屈折率の関係は、Brix値としてICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugars Analysis) で定められており、屈折率の測定から糖度を求める方法が規定されている。この方法は、果物や酒類の糖度測定に応用され、産業上、幅広く用いられている。

【0004】

医薬品の分野では、薬剤の品質管理の1つとして、薬剤を溶かした溶液の屈折率が日本薬局方で定められている。サリドマイドのようなラセン構造をもつ医薬品では、「右手系」は薬用効果があるが、「左手系」は毒物となる場合がある。このような互いに逆ラセン構造を有する物質を、物理化学的に分離することは不可能である。しかし、異なる旋光性を示すことが知られており、光学的に容易に識別することができる。そこで、サリドマイドのような薬害事故後、日本薬局方において、ナトリウムD線による旋光度の測定が規定されている。このような性質を示す医薬品としては、サリドマイドのほか、メントール、プロスタグランジン、 $\beta$ ラクタム系抗生物質、キノロン系抗菌剤など多数ある。

【0005】

現在、ナトリウムD線を発生するレーザ光源は実現されておらず、ナトリウムランプあるいは黄色LEDを光源として用いている。ナトリウムランプからの光は、単色性に優れているものの、すべての方向に放射される発散光である。従って、平行光にすることが難しく、光学特性を精度よく測定することが困難である。また、集光エネルギーが高くないため、大出力ランプを用いる必要がある。

【0006】

一方、黄色LEDは、スペクトラム線幅が約20nmと広い。そこで、光学フィルタを用いて、ナトリウムD線近傍のスペクトラムの切り出すことにより、スペクトラム線幅を狭くしているものの、限界があった。また、可干渉性もないことから、測定精度の向上には限界があった。

【0007】

このような背景のもとに、食料品、医薬品の品質管理など、産業上多くの分野で、ナトリウムD線波長で規定されている光学的評価方法の精度向上が求められている。ナトリウムD線におけるレーザを実現することができれば、光の干渉を用いた測定が可能となる。光の干渉を用いると、食品、医薬品をはじめとした各種液体、光学媒質の屈折率測定精度が、現在より2桁程度の向上することができ、さらに、低消費電力化、小型化も可能となる。

【0008】

ナトリウム原子の構造およびそのエネルギー遷移から発生する光の特性について説明する(非特許文献1参照)。ナトリウム原子から発光する波長は、589.592nm(D<sub>1</sub>線)と、588.995nm(D<sub>2</sub>線)とであることが知られている。また、D<sub>1</sub>線とD<sub>2</sub>線をあわせてD線と呼び、D線の波長は両者の平均を取り589.3nmと呼ばれることもある。ナトリウム原子のエネルギー準位を図1に示す。D線は、第1励起状態であ

る 3 P 準位から基状態である 3 S 準位への遷移に伴い発生する。3 P は、 $3 P_{1/2}$  と  $3 P_{3/2}$  の微細構造を有し、D<sub>1</sub> 線の発光は、 $3 P_{1/2}$  から  $3 S_{1/2}$  へ遷移によるものであり、D<sub>2</sub> 線の発光は、 $3 P_{3/2}$  から  $3 S_{1/2}$  へ遷移によるものである。

#### 【0009】

$3 S_{1/2}$ 、 $3 P_{1/2}$ 、 $3 P_{3/2}$  は、電子の磁気モーメントと原子核の固有磁気モーメントとの相互作用により極微細構造を有し、 $3 S_{1/2}$  は、エネルギー差  $7.3 \mu\text{eV}$  の 2 つのレベルに分離し、 $3 P_{1/2}$  は、 $0.78 \mu\text{eV}$  の幅の 2 つのレベルに分離し、 $3 P_{3/2}$  は、 $0.48 \mu\text{eV}$  の幅の 4 つのレベルに分離する。

#### 【0010】

【非特許文献 1】久保謙一、鹿取謙二著「スピンと偏極」培風館、1994 年 10 月 31 日、p. 21-24

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0011】

D<sub>1</sub> 線、D<sub>2</sub> 線の波長でレーザを実現するためには、それぞれに対応するエネルギーレベル間で反転分布を形成する必要がある。反転分布を実現するためには、3 準位系、あるいは 4 準位系を構成する必要がある。しかし、図 1 に示したエネルギー準位において、 $3 P_{3/2}$  から  $3 P_{1/2}$  への緩和は禁制遷移であり、 $3 P_{1/2}$  から  $3 S_{1/2}$  への緩和時間は  $15.9 \text{ ns}$  (Harold J. Metcalf and Peter van der Straten "Laser Cooling and Trapping", Springer, 1999, pp.274) である。例えば、TiAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> レーザの緩和時間  $3.2 \mu\text{s}$  と比較すると、2 桁以上も短いため、 $3 S_{1/2}$  と  $3 P_{1/2}$  との間で反転分布を形成することが難しく、ナトリウム D 線波長のレーザ発振が未だ実現されていない。また、超微細構造を用いたレーザ発振も考えられるが、ナトリウム原子における  $3 S_{1/2}$ 、 $3 P_{1/2}$ 、 $3 P_{3/2}$  の極微細構造のエネルギー差は、室温 ( $300 \text{ K}$ ) におけるエネルギー  $25.8 \text{ meV}$  に比較すると 4 桁程度小さい。そのため、室温における励起は、スプリットした極微細構造の両方にはほぼ均等に分布し、反転分布を形成することができない。このような理由により、これまで、ナトリウム D<sub>1</sub> 線、D<sub>2</sub> 線におけるレーザを実現することが出来なかった。

#### 【0012】

従来、半導体レーザは、 $500 \text{ nm}$  以下または  $620 \text{ nm}$  以上の波長領域でしか実用化されていない。 $500 \text{ nm} \sim 620 \text{ nm}$  の波長領域においては、ファイバレーザ、Nd-YAG レーザの第二高調波発生法によって、特定の波長の固体レーザが実現されているものの、任意の波長の固体レーザは、未だ実現されていない。

#### 【0013】

一方、可視域のコヒーレントな光を発生する方法として、非線形結晶を用いた第二高調波発生法 (SHG 法) が知られている。この方法により、D<sub>1</sub> 線あるいは D<sub>2</sub> 線の光を発生するためには、波長  $1179.2 \text{ nm}$  または  $1178.0 \text{ nm}$  の光源を必要とする。残念ながら、これらの波長は、半導体レーザで発振することができるものの、必要な出力を得ることが出来るレーザを入手することが非常に困難である。

#### 【0014】

また、非線形結晶を用い 2 つの励起レーザ光の和周波を発生し、可視光を得ることもできる。この方法では、和周波光のエネルギーは、2 つの励起光のエネルギーの和で与えられる。所望の波長の和周波を得るために、2 つの励起光の波長の組み合わせの自由度が広がるという利点もある。したがって、任意の波長のレーザを実現するためには、最も実用的な方法である。しかしながら、一般に非線形光学現象は、効率が低いという問題があった。この問題を解決するためには、非線形光学結晶の特性改善と共に、高励起光強度が得られ、さらに、小型化、低消費電力な既存レーザ装置の選択が重要となる。

#### 【0015】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、線幅が狭く平行性に優れ、エネルギー効率が高い、ナトリウム D 線波長のコヒーレント光を発生

するレーザ光源を備えることにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、波長 $\lambda_1$ のレーザ光を発生する第1のレーザと、波長 $\lambda_2$ のレーザ光を発生する第2のレーザと、前記波長 $\lambda_1$ のレーザ光と前記波長 $\lambda_2$ のレーザ光とを入力し、 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ の関係にある和周波の波長 $\lambda_3$ を有するコヒーレント光を出力する非線形光学結晶とを含むレーザ光源において、前記和周波の波長 $\lambda_3$ は、ナトリウムD線に相当する波長 $589.3 \pm 2 \text{ nm}$ であることを特徴とする。

【0017】

請求項2に記載の発明は、請求項1の前記非線形光学結晶は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ における屈折率を、それぞれ $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ とすると、 $2\pi n_3/\lambda_3 = 2\pi n_1/\lambda_1 + 2\pi n_2/\lambda_2 + 2\pi n_2/\Lambda$ を満たすような周期 $\Lambda$ の周期的な分極反転構造を有することを特徴とする。

【0018】

請求項3に記載の発明は、請求項2の前記非線形光学結晶は、導波路構造をさらに有することを特徴とする。

【0019】

請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の前記波長 $\lambda_1$ は $976 \pm 10 \text{ nm}$ であり、前記波長 $\lambda_2$ は $1485 \pm 20 \text{ nm}$ であることを特徴とする。

【0020】

請求項5に記載の発明は、請求項1に記載の前記波長 $\lambda_1$ は $1064 \pm 10 \text{ nm}$ であり、前記波長 $\lambda_2$ は $1320 \pm 20 \text{ nm}$ であることを特徴とする。

【0021】

請求項6に記載の発明は、請求項1に記載の前記波長 $\lambda_1$ は $940 \pm 10 \text{ nm}$ であり、前記波長 $\lambda_2$ は $1565 \pm 35 \text{ nm}$ であることを特徴とする。

【0022】

請求項7に記載の発明は、請求項4に記載の前記波長 $\lambda_2 = 1485 \pm 20 \text{ nm}$ を出力する前記第2のレーザは、DFBレーザであることを特徴とする。

【0023】

請求項8に記載の発明は、請求項5に記載の前記波長 $\lambda_2 = 1320 \pm 20 \text{ nm}$ を出力する前記第2のレーザは、DFBレーザであることを特徴とする。

【0024】

請求項9に記載の発明は、請求項6に記載の前記波長 $\lambda_2 = 1565 \pm 35 \text{ nm}$ を出力する前記第2のレーザは、DFBレーザであることを特徴とする。

【0025】

請求項10に記載の発明は、請求項1ないし9のいずれかに記載のレーザ光源において、前記第1および第2のレーザの各々の出力に結合される2つの偏波面保持ファイバと、該2つの偏波面保持ファイバの2つの出力を合波し、前記非線形光学結晶に結合する合波器とを備えたことを特徴とする。

【0026】

請求項11に記載の発明は、請求項10に記載のレーザ光源において、前記第1および第2のレーザは、半導体レーザであり、前記2つの偏波面保持ファイバは、少なくとも一方がファイバブラッググレーティングを有することを特徴とする。

【0027】

請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の前記第1および第2のレーザの少なくとも一方は、前記偏波面保持ファイバと結合する端面は、反射率を2%以下とし、該端面の反対側の端面の反射率を90%以上としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0028】

以上説明したように、本発明によれば、非線形光学結晶の特長改善と共に、既存レーザー装置の選択により、ナトリウムD<sub>1</sub>線、D<sub>2</sub>線波長のコヒーレント光を、高効率、高安定で発生させることができ、レーザー光源の小型化、屈折率測定の精度向上を図ることが可能となる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0029】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

図1に、本発明の一実施形態にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源を示す。レーザー光源20は、非線形光学結晶を励起するための2つの励起レーザー21、22と、和周波を発生するための非線形光学結晶23とからなる。

##### 【0030】

非線形結晶を用いた和周波発生では、和周波光の波長 $\lambda_3$ は、2つの励起光の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ とすると、

$$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 \quad (1)$$

で与えられる。ナトリウムD<sub>1</sub>線、D<sub>2</sub>線に相当する和周波光を発生するためには、(1)式において $\lambda_3 = 589.592 \text{ nm}$ または $588.995 \text{ nm}$ となる $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を選び、2つの波長の励起レーザーと非線形光学結晶とを組み合わせる必要がある。

##### 【0031】

また、和周波光の発生効率を高めるためには、非線形結晶内における2つの入射光( $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ )と和周波光( $\lambda_3$ )の伝搬定数 $k_i = 2\pi n_i / \lambda_i$  ( $i=1, 2, 3$ )の間に、

$$k_3 = k_1 + k_2 \quad (2)$$

が成立しなければならない。ここで、 $n_i$ は $\lambda_i$ における非線形結晶の屈折率である。しかし、光学媒質に分散特性が存在するために、特定の条件の場合のみ(2)式を満足する。具体的には、入射光あるいは和周波光の何れか1つの偏光方向を変え、常光屈折率と異常光屈折率とを用いる方法がある(例えば、A.Yariv, "Quantum Electronics", 3rd Ed., pp.392-398 (1988))。また、非線形光学結晶に周期的な分極反転構造を形成し、擬似位相整合によって変換効率の高効率化を図る方法が用いられている(米国特許第5,036,220号および対応する日本国出願の特公平4-507299号公報)。

##### 【0032】

和周波光の発生強度は、2つの励起レーザー強度の積に比例するため、2つの励起レーザーの選択は、それらの波長の組み合わせが(1)式を満足し、さらにより高強度のレーザーを用いる。既存の半導体レーザー(例えば、<http://laserfocusworld.365media.com/laserfocusworld/searchResult.asp?cat=48903/&d=453&st=1>にまとめられている。)のうち、大出力が実現されている波長帯は、(1)940nm帯、(2)980nm帯、(3)1060nm帯、(4)1480nm帯である。また、(5)1300nm帯、(6)1550nm帯でも100mW級の半導体レーザーが開発されている。特に、(4)、(5)、(6)の領域では、DFB(Distributed FeedBack)レーザーが開発されており、シングル縦モード発振、波長安定化が実現されている。また、800nm~880nmの領域でも高出力半導体レーザーが開発されているが、この領域の半導体レーザーを励起レーザー1として用いると、励起レーザー2の波長は、1780nm以上となる。このような長波長領域で、大出力かつ信頼性の高い半導体レーザーの実現は困難であることから、除外する。

##### 【0033】

図3に、ナトリウムD線の波長を和周波発生により得るための励起レーザー1と励起レーザー2の波長の関係を示す。励起用レーザー1の波長を $\lambda_1$ とし、励起用レーザー2の波長を $\lambda_2$ とし、和周波光を得るための関係を曲線30で示した。また、上記(1)から(6)の励起レーザー1の領域を1-(1)、1-(2)、1-(3)、1-(4)、1-(5)、1-(6)としてハッチングを施した。併せて、上記(1)から(6)の励起レーザー2の領域を2-(1)、2-(2)、2-(3)、2-(4)、2-(5)、2-(6)としてハッチングを施して示した。図3より、励起レーザー1と励起レーザー2とは、1-(1)



から 1-(6) のいずれかと 2-(1) から 2-(6) のいずれかが、曲線 30 上で交差する組み合わせを用いることにより、和周波発生の高効率化が可能となる。

#### 【0034】

なお、(1) から (6) の領域は、

- (1) 940±10 nm
- (2) 980±10 nm
- (3) 1060±10 nm
- (4) 1480±10 nm
- (5) 1280 nm～1350 nm
- (6) 1530 nm～1600 nm

とした。ここで、(5) は光通信における O 帯であり、(6) は C 帯である。この 2 つの波長帯は、波長多重通信技術 (WDM) において、最も、広く使われている領域であり、大出力かつ高信頼性の半導体レーザーなどの光部品の入手が容易である。

#### 【0035】

1-(1) から 1-(6) のいずれかと 2-(1) から 2-(6) のいずれかが、曲線 30 上で交差する組み合わせは、励起レーザー 1 と励起レーザー 2 の波長を逆にしても、和周波波長は同じであることを考慮に入れる。その結果、(1) および (6) と、(2) および (5) と、(3) および (4) との組み合わせが、曲線 30 上で交差し、この組み合わせを用いれば、ナトリウム D 線の波長を効率的に発生できることがわかる。

#### 【0036】

一般に、レーザーの形態として、シングルモード発振、マルチモード発振があるが、和周波発生光の特性は、2 つの励起半導体レーザーの特性で決まる。シングルモード発振を行うためには、2 つの励起用半導体レーザーもシングルモード発振させる必要がある。そのためには、DFB 構造を有する半導体レーザー、またはファイバブラッググレーティングを共振器構造に用いたレーザーの使用が必要となる。また、マルチモード発振の場合には、ファブリペロー型半導体レーザー、半値全幅 0.1 nm～0.5 nm 程度の反射スペクトラムを有するファイバグレーティングを共振器構造に適応した半導体レーザーを用いることで実現することができる。

#### 【0037】

非線形光学結晶としては、非線形光学定数が大きく、また励起に用いる 2 つのレーザー波長とナトリウム D 線波長において透明であれば何でも良いが、ニオブ酸リチウム (LiNbO<sub>3</sub>、LN)、タンタル酸リチウム (LiTaO<sub>3</sub>、LT) などを具体例として挙げる事ができる。また、これらの非線形光学結晶は、高効率に和周波発生を行うために、周期的な分極反転構造と導波路構造とを有することが望ましい。すなわち、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  における非線形光学結晶の屈折率を、それぞれ  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  とすると、

$$2\pi n_3 / \lambda_3 = 2\pi n_1 / \lambda_1 + 2\pi n_2 / \lambda_2 + 2\pi n_2 / \Lambda \quad (3)$$

を満たすような周期  $\Lambda$  の周期的分極反転構造とすれば、和周波光の発生効率を最大にすることができる。

#### 【0038】

また、非線形光学結晶に導波路を形成すれば、励起レーザーからの入射光を周期的分極反転構造内に閉じ込めることができるので、高効率に和周波光を発生することができる。これらの構造は、それぞれ電界印加法、プロトン交換法、ドライエッチング法、またはダイシングソーによる機械加工法などによって実現することができる。

#### 【0039】

また、和周波光を発生するために、2 つの半導体レーザー光の結合、LN 導波路への結合が必要になるが、これらの技術は、光通信デバイス技術として確立しており、実現上大きな支障がないことも特徴である。

#### 【0040】

例えば、既存の半導体 DFB レーザーの線幅は 1 MHz であり、ファイバブラッググレーティングを用いた外部鏡共振器型半導体レーザーの線幅は、100 kHz 程度である。これ

らを励起レーザと用いた場合の和周波光の線幅は、2つの励起光線幅の繰り込み積分で与えられることから数MHz以下である。ナトリウムD線（波長589.3nm、周波数約500THz）における屈折率を干渉法で測定する場合、その測定精度は、使用するレーザ光の周波数と線幅の比で与えられ、線幅を5MHzとすると、測定精度は $10^{-8}$ となる。したがって、本実施形態によれば、ナトリウムD線における屈折率測定は、現状より2桁程度の精度向上が可能となる。

#### 【実施例1】

##### 【0041】

図4に、本発明の実施例1にかかるナトリウムD線波長のレーザ光源を示す。レーザ光源は、2つの励起レーザ40、41と、周期的に分極反転させたLN44と、励起レーザ40、41のレーザ光をコリメートするレンズ42a、42bと、2つのレーザ光を合波する合波器43と、LN44を透過した励起レーザ40、41のレーザ光とLN44で発生した和周波光とを分離するフィルタ45とから構成されている。

##### 【0042】

励起レーザ40の波長 $\lambda_1$ と、励起レーザ41の波長 $\lambda_2$ とは、

$$1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/(589.3 \pm 2.0)$$

を満足するような組み合わせとする。さらに $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ は、

$$\lambda_1 = 976 \pm 10 \text{ nm}, \lambda_2 = 1485 \pm 20 \text{ nm}$$

$$\lambda_1 = 1064 \pm 10 \text{ nm}, \lambda_2 = 1320 \pm 20 \text{ nm}$$

$$\lambda_1 = 940 \pm 10 \text{ nm}, \lambda_2 = 1565 \pm 35 \text{ nm}$$

のいずれかを満足する範囲とする。 $\lambda_2$ の半導体レーザはDFBレーザでもよい。

##### 【0043】

励起レーザ40の波長 $\lambda_1 = 1064 \text{ nm}$ 、LN44への入射強度を50mWとし、励起レーザ41の $\lambda_2 = 1320 \text{ nm}$ 、LN44への入射強度を70mWとしたとき、波長 $\lambda_3 = 589.1 \text{ nm}$ 、出力20 $\mu\text{W}$ の和周波光が得られた。

#### 【実施例2】

##### 【0044】

図5に、本発明の実施例2にかかるナトリウムD線波長のレーザ光源を示す。実施例1のレーザ光源との相違は、非線形光学結晶にある。非線形光学結晶は、LN結晶を導波路化された周期的分極反転LN導波路51を用いる。また、入射レーザ光を周期的分極反転LN導波路51に効率よく結合するためのレンズ50と、および周期的分極反転LN導波路51からの出射光をコリメートするレンズ52とを有している。

##### 【0045】

励起レーザ40の波長 $\lambda_1 = 1064 \text{ nm}$ 、LN44への入射強度を50mWとし、励起レーザ41の $\lambda_2 = 1320 \text{ nm}$ 、LN44への入射強度を70mWとしたとき、波長 $\lambda_3 = 589.1 \text{ nm}$ 、出力10mWの和周波光が得られた。

#### 【実施例3】

##### 【0046】

実施例1および実施例2の構成（図4、図5）において、励起レーザ40を、波長1064nm近傍のNdイオンを用いたレーザ（例えば、Nd:YAGレーザ）とし、励起レーザ41を1300 $\pm$ 10nmの半導体レーザとする。

#### 【実施例4】

##### 【0047】

図6に、本発明の実施例4にかかるナトリウムD線波長のレーザ光源を示す。実施例2の構成において、2つのレーザ光を周期的分極反転LN導波路51に結合するために、偏波面保持ファイバ（またはシングルモードファイバ）61、63と、合波器62とを用いた。偏波面保持ファイバ63からの放射される光は、周期的分極反転LN導波路51の端面に直接入射するか、またはレンズ64によって結合する。

#### 【実施例5】

##### 【0048】

図7に、本発明の実施例5にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源を示す。実施例4のさらなる応用例である。励起レーザー70, 71は、出射側端面70a, 71aに反射率2%以下のARコートを施し、反対側の端面70b, 71bに反射率90%以上のHRコートを施す。励起レーザー70, 71の出力は、レンズ72a, 72bを介して、端面あるいはファイバの途中にファイバブラッググレーティングを形成した偏波面保持ファイバ（またはシングルモードファイバ）73, 74に結合される。このようにして、端面70b, 71bのHRコーティングとファイバブラッググレーティングとの間で共振器を構成する。

#### 【0049】

それぞれのレーザーの発振波長は、ファイバブラッググレーティングの反射スペクトラムによって制御する。このとき、ファイバブラッググレーティング反射スペクトラムの中心波長は、

$976 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1485 \pm 20 \text{ nm}$

$1064 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1320 \pm 20 \text{ nm}$

$940 \pm 10 \text{ nm}$ 、 $1565 \pm 35 \text{ nm}$

のいずれかとし、その線幅（半値全幅）は0.3nm以下とする。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0050】

本実施形態によれば、ナトリウムD線における屈折率測定は、現状より2桁程度の精度向上が可能となる。したがって、食料品あるいは医薬品の品質管理の大きな改善が図れるばかりでなく、異物、毒物混入の監視精度の向上により安全性を大幅に改善することが可能となる。また、屈折率と密度との関係が既知の物質に関しては、屈折率の測定から密度を得ることも可能となり、この密度測定での精度向上も飛躍的に改善される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0051】

【図1】ナトリウム原子のエネルギー準位を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源の構成図である。

【図3】ナトリウムD線の波長を和周波発生により得るための励起レーザー1と励起レーザー2の波長の関係を示す図である。

【図4】本発明の実施例1にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源の構成図である。

【図5】本発明の実施例2にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源の構成図である。

【図6】本発明の実施例4にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源の構成図である。

【図7】本発明の実施例5にかかるナトリウムD線波長のレーザー光源の構成図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0052】

20 レーザ光源

21, 22, 40, 41 励起レーザー

23 非線形光学結晶

42a, 42b, 50, 52, 64 レンズ

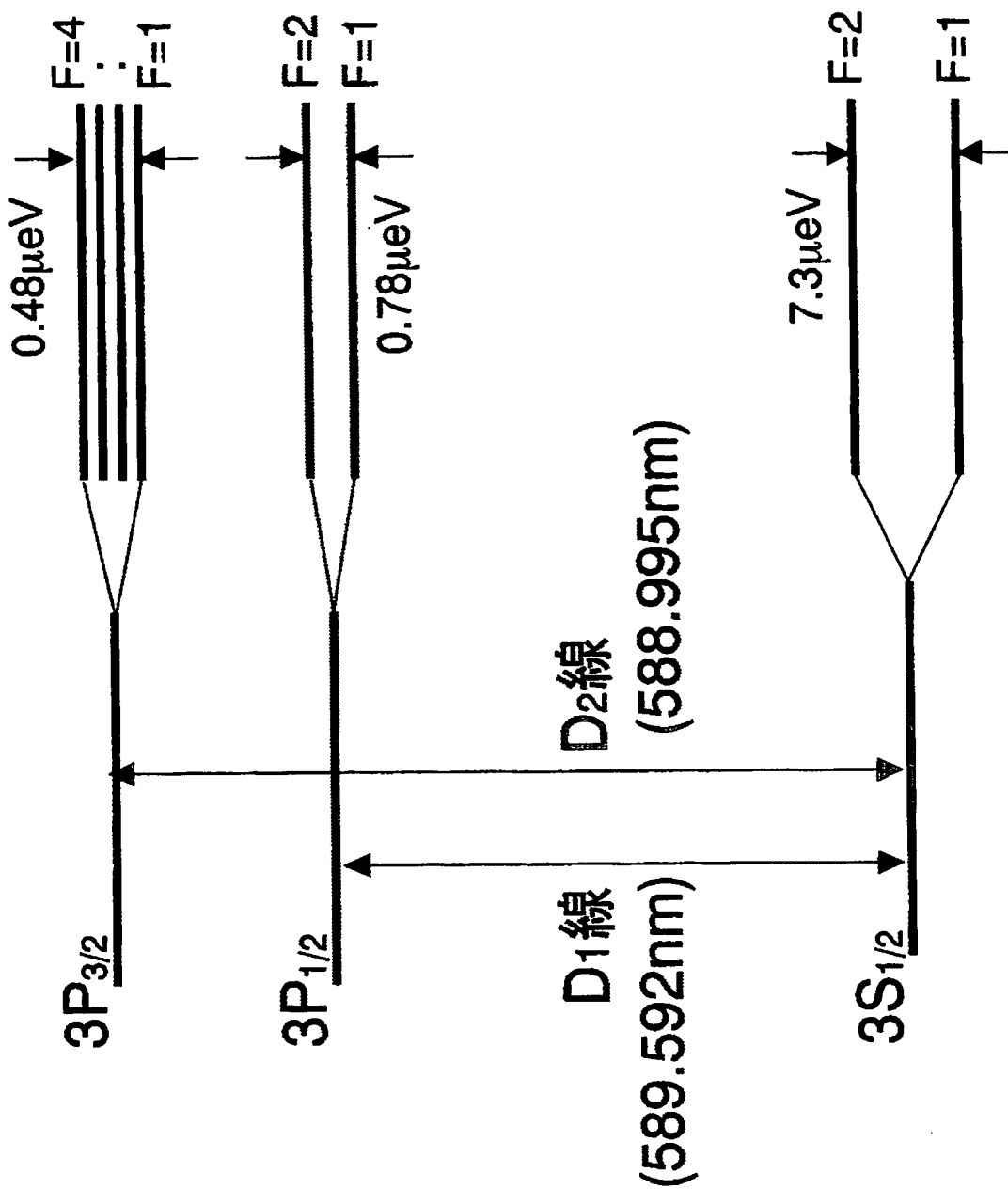
43, 62 合波器

44 LN

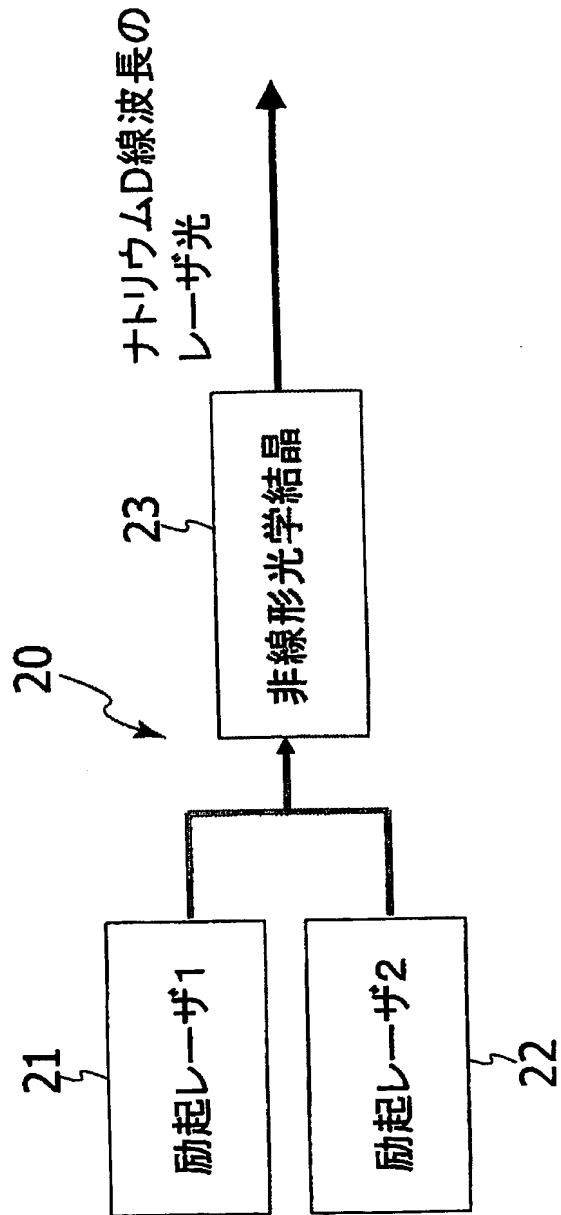
51 周期的分極反転LN導波路

61a, 61b, 63 偏波面保持ファイバ

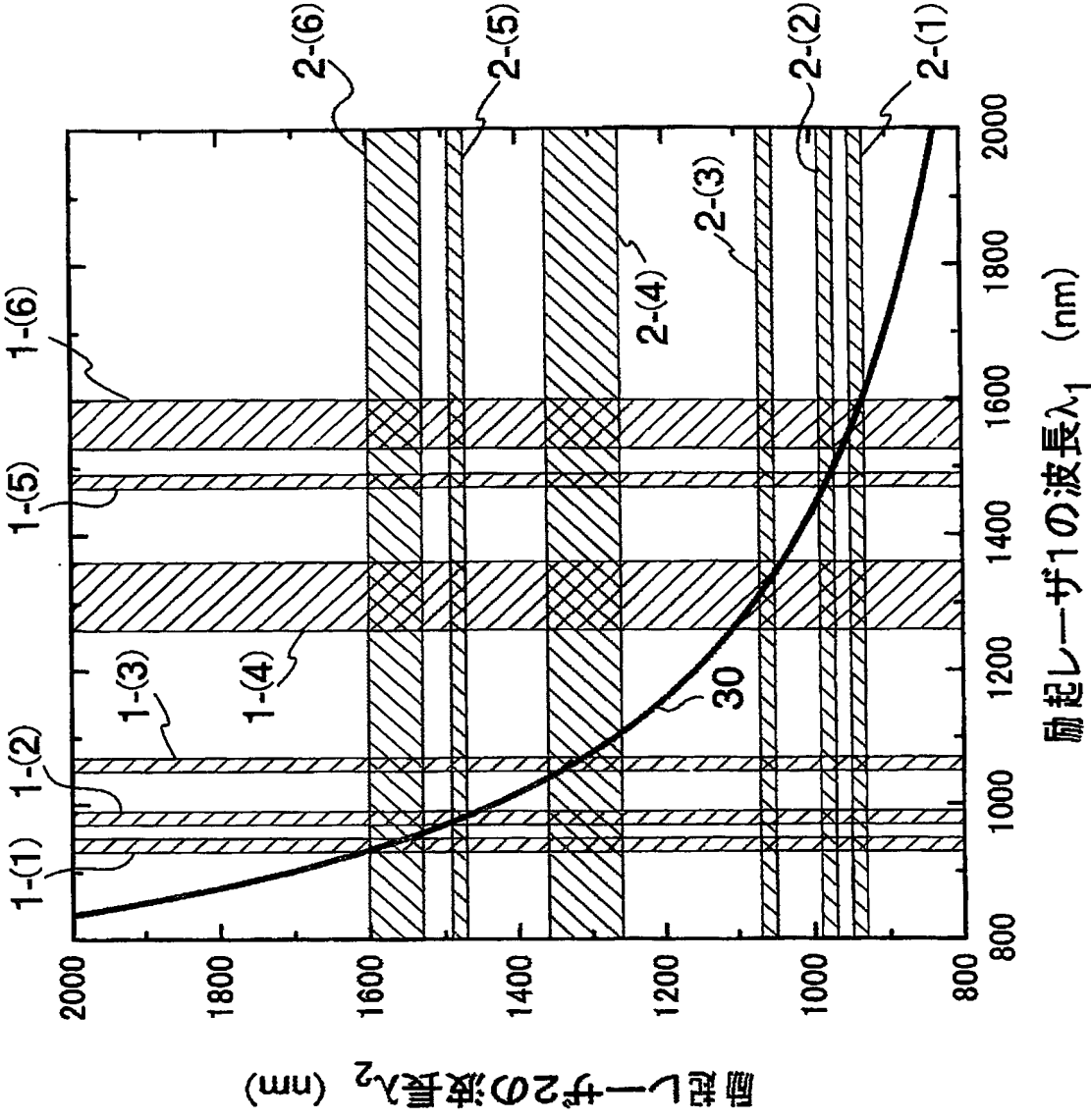
【書類名】 図面  
【図 1】



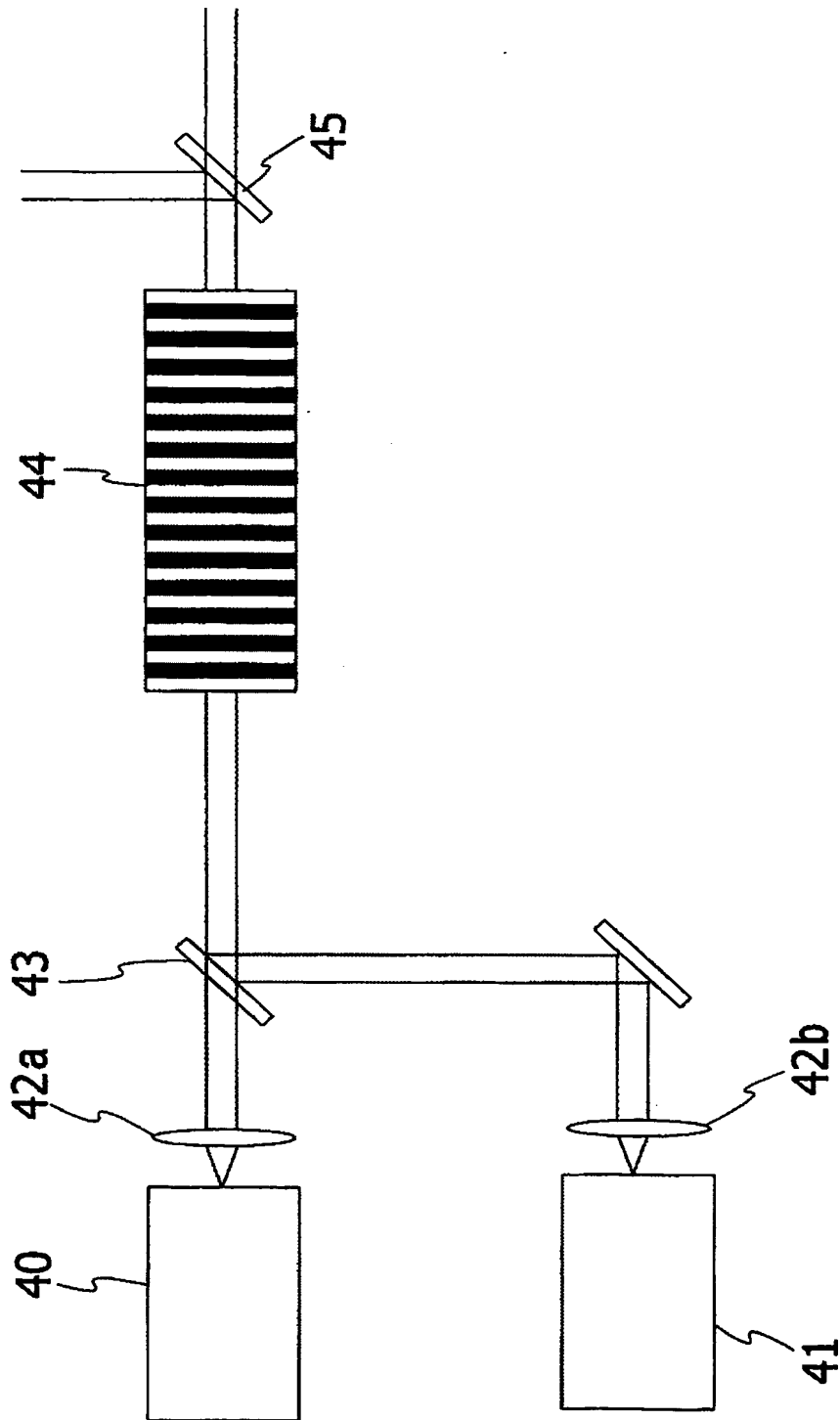
【図 2】



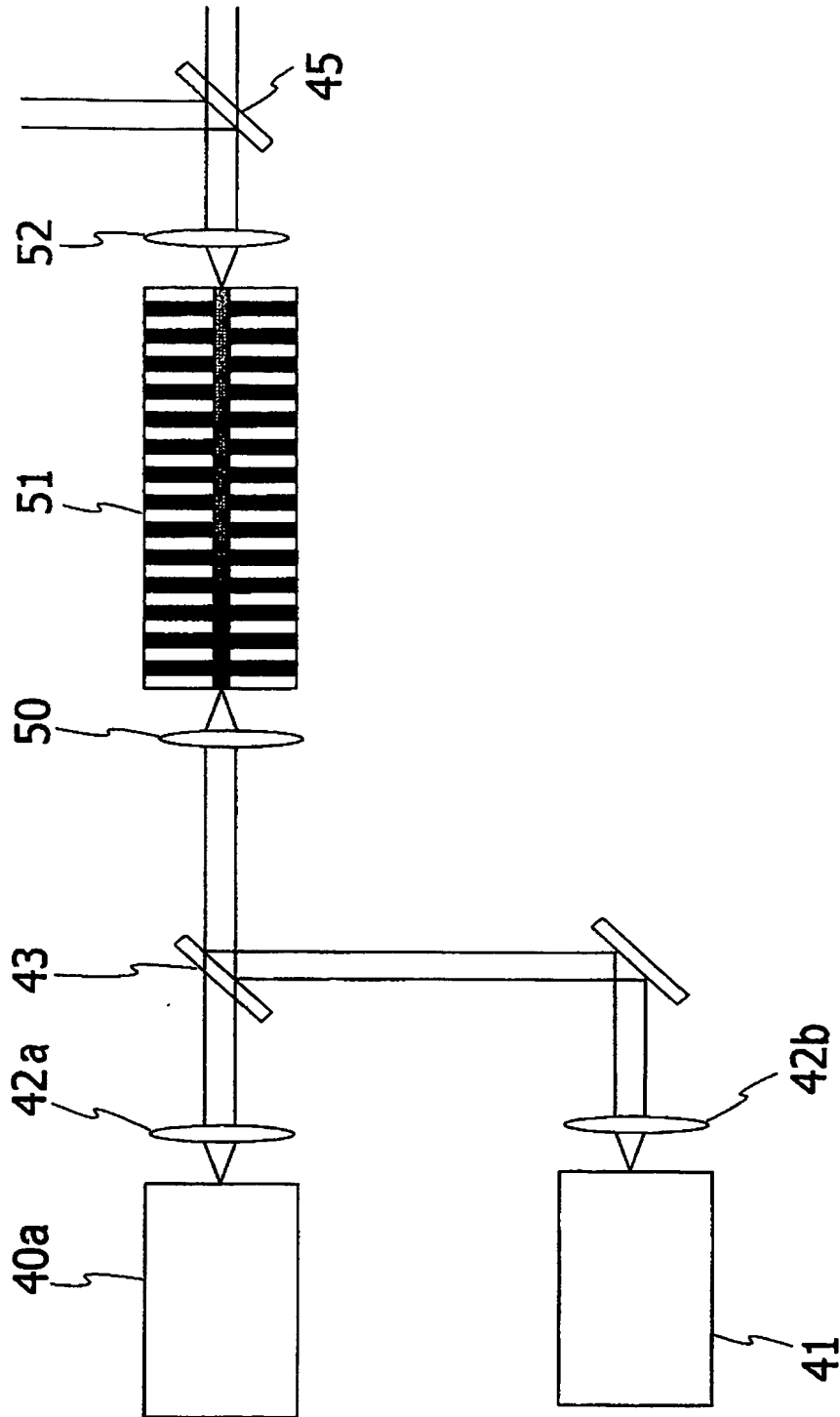
【図 3】



【図 4】

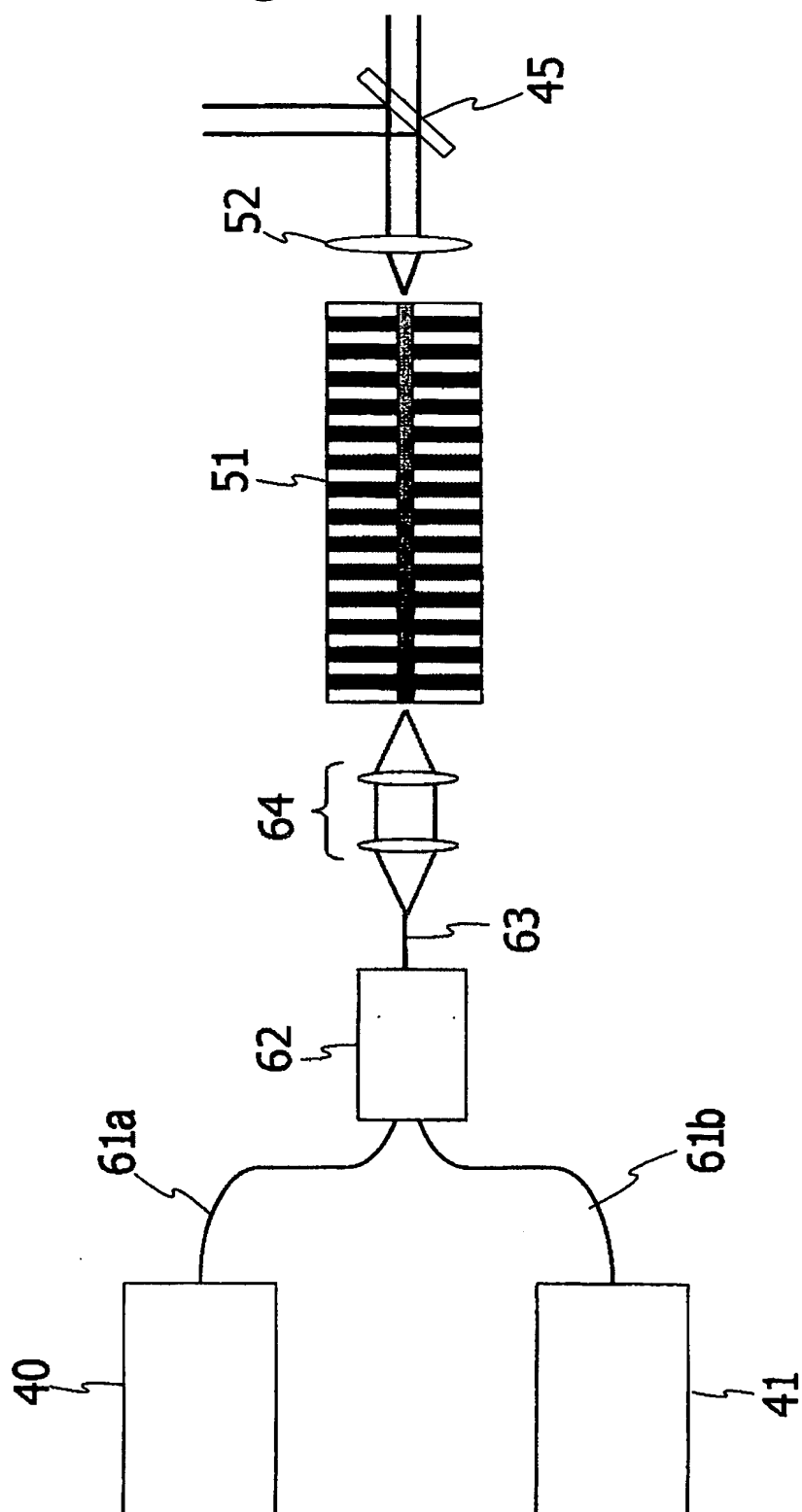


【図 5】

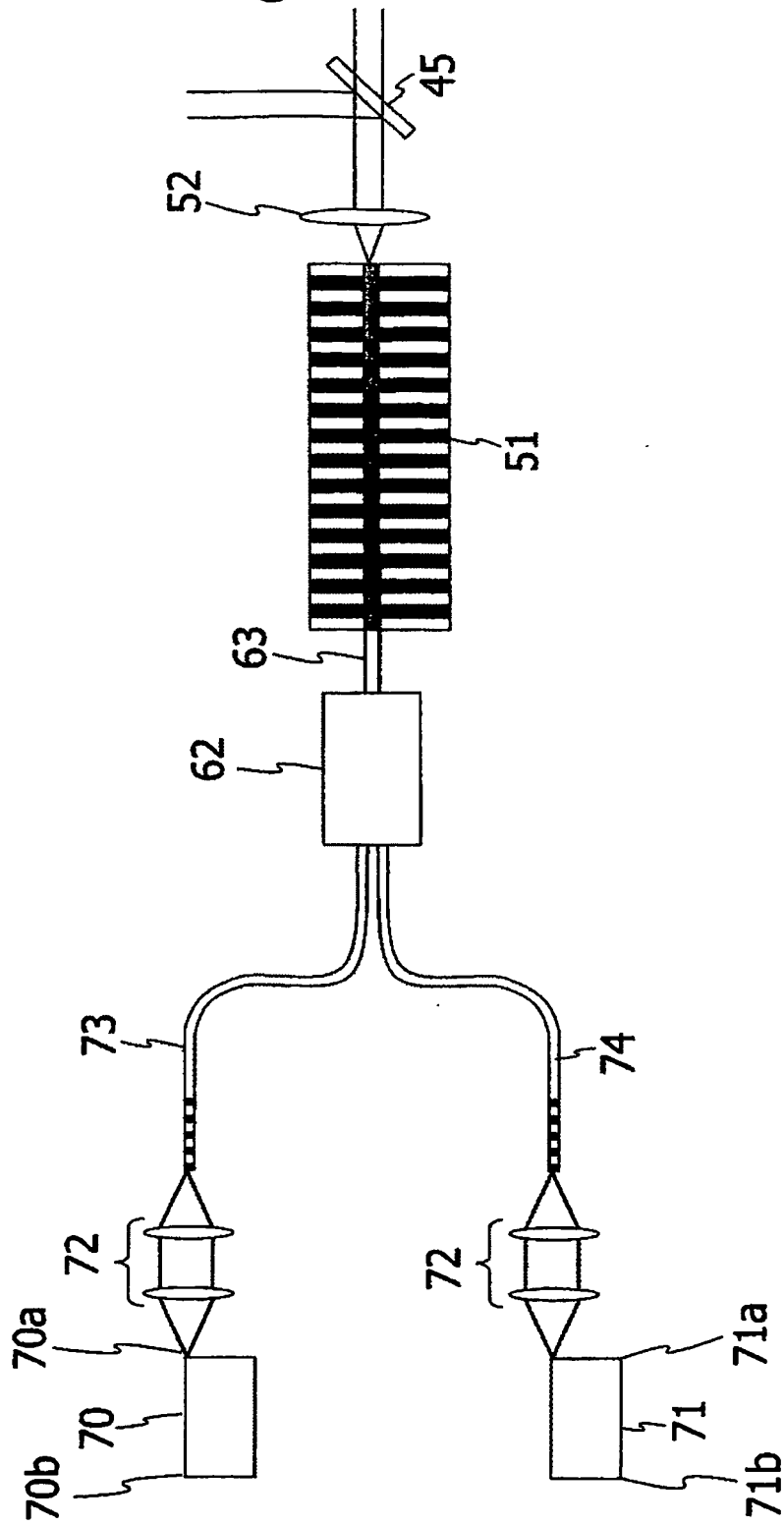




【図 6】



【図 7】



## 【書類名】要約

## 【要約】

【課題】 線幅が狭く平行性に優れ、エネルギー効率が高い、ナトリウムD線波長のコヒーレント光を発生するレーザ光源を提供する。

【解決手段】 2つの励起レーザ40、41と、周期的に分極反転させたLN44と、励起レーザ40、41のレーザ光をコリメートするレンズ42a、42bと、2つのレーザ光を合波する合波器43と、LN44を透過した励起レーザ40、41のレーザ光とLN44で発生した和周波光とを分離するフィルタ45とを備えた。非線形光学結晶44から出力される和周波光は、ナトリウムD線に相当するコヒーレント光（波長 $589.3 \pm 2$  nm）を発生する。非線形光学結晶44は、さらに導波路構造を有しても良い。

【選択図】 図4

特願 2 0 0 3 - 2 8 5 3 8 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 2 2 6 ]

1. 変更新月日 1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号  
氏 名 日本電信電話株式会社